

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Technologie gravírování laserem

Laser Engraving Technology

Student:

Martin Přaslica

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Marek Sadílek, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

## Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Přaslica**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: **Technologie gravírování laserem**  
**Laser Engraving Technology**

Zásady pro vypracování:

1. Přehled současných technologií gravírování.
2. Zhodnocení a rozbor technologie gravírování lasery.
3. Zhodnocení a rozbor technologie gravírování CO2 laserem.
4. Aplikace technologie gravírování laserem na zadanou součást.
5. Zhodnocení a rozbor dosažených výsledků návrhu.
6. Závěr pro realizaci v praxi.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] SADÍLEK, M. *Nekonvenční metody obrábění I*. VŠB – TU Ostrava, 2009, 152 s., ISBN 978-80-248-2107-8.  
[2] MAŇKOVÁ, I. *Progresívne technológie*. Technická univerzita Košice, Viena, Košice, 2000, ISBN 80-7099-430-4.  
[3] EL-HOFY, H. *Advanced Machining Processes – Nontraditional and Hybrid Machining Processes*. The McGraw-Hill Companies, 2005, ISBN 0-07-145334-2.  
[4] MIČIETOVÁ, A. *Nekonvenčné metódy obrábania*. Žilina. Žilinská univerzita v Žilíně, 2001, 376 s. ISBN 80-7100-853-2.

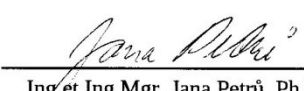
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Marek Sadílek, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014




  
Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

19.5.2014  
V Ostravě .....

  
.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci, nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše)
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

19.5.2014

V Ostravě:.....



.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Martin Přaslica

Adresa trvalého pobytu autora práce: Loučka 225, PSČ 75644

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

PŘASLICA, M. *Technologie gravírování laserem: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2014, 40 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Marek Sadílek, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá zmapováním současných technologií, které jsou využívány ke gravírování a popisování. Popisuje jejich základní princip, možnosti využití a jejich rozdílnou aplikaci na různé povrchy. Následuje zaměření se na laser, jeho fyzikální princip, rozdělení a využití. Část práce je věnována CO<sub>2</sub> laserům. Na konci kapitoly jsou uvedeny tabulky srovnání parametrů vybraných metod obrábění. V praktické části se nachází porovnání řezů, při nastavených různých parametřích. Za pomoci CO<sub>2</sub> laseru je obráběn znak katedry obrábění a montáže do zadaného materiálu. Závěr obsahuje hodnoty ideálního nastavení parametrů, zhodnocení kvality výrobku a možnosti další aplikace laserové technologie.

Klíčová slova: Laser; gravírování; technologie; CO<sub>2</sub>

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

PŘASLICA, M. *Laser engraving technology: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2014, 40 p. Thesis head: doc. Ing. Marek Sadílek, Ph.D.

Bachelor thesis deals with the mapping of existing technologies that are used for engraving and marking. Describes the basic principle, possible uses and different applications on different surfaces. The following is a focus on the laser, the physical principle, the distribution and use. Part of the work is devoted to CO<sub>2</sub> lasers. At the end of the chapter are tables comparing selected parameters of machining methods. In the practical part is a comparison of sections, with various parameters of set. Using CO<sub>2</sub> laser is the part of the department emblem machining and assembly to the specified material. Conclusion contains the values of the ideal set of parameters, estimation of product quality and the possibility of further applications of laser technology.

Keywords: Laser; engraving; technology; CO<sub>2</sub>

## PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří mému vedoucímu bakalářské práce, panu doc. Ing. Markovi Sadílkovi, Ph.D., za odbornou, ale také pedagogickou pomoc a také za cenné rady při společných odborných konzultacích.

19.5.2014

V Ostravě:.....



.....  
podpis

# Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů .....	- 8 -
Úvod .....	- 9 -
1 Přehled současných technologií gravírování .....	- 10 -
1.1 Gravírování .....	- 10 -
1.2 Technologie obrábění vodním paprskem.....	- 10 -
1.3 Obrábění proudem abraziva.....	- 13 -
1.4 Gravírování frézou .....	- 14 -
1.5 Gravírování Elektronovým Paprskem .....	- 15 -
2 Technologie gravírování laserem .....	- 18 -
2.1 LASER.....	- 18 -
2.2 Historie.....	- 18 -
2.3 Princip.....	- 19 -
2.4 Druhy laserů a jejich aktivní prostředí.....	- 20 -
2.5 Rozbor CO <sub>2</sub> laseru .....	- 22 -
2.6 Porovnání parametru a dosahované parametry jednotlivých metod .....	- 23 -
3 Aplikace technologie gravírování laserem .....	- 24 -
3.1 Gravírovací a řezací laserové zařízení .....	- 24 -
3.2 Bezpečnost .....	- 26 -
3.3 Software Laser Cut 5.3 .....	- 26 -
3.3.1 Hladiny .....	- 27 -
3.3.2 Nastavení parametrů řezání (set cut options) .....	- 28 -
3.3.3 Nastavení pro gravírování (set engrave options).....	- 28 -
3.4 Zadaná součást.....	- 29 -
3.5 Porovnání řezů při různě nastavených parametrech .....	- 30 -
3.6 Volba optimálních parametrů pro zavedení výroby znaku na zadanou součást ...	- 33 -
3.7 Zhodnocení kvality zpracování obráběného znaku.....	- 36 -
Závěr.....	- 37 -
Literatura .....	- 38 -

## Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
AWJM	[-]	Abrazivní obrábění vodním paprskem
CNC	[-]	Počítačové numerické řízení
$\Delta E$	[J]	Energetický rozdíl mezi hladinami energie
$E_1$	[J]	Energie na základní hladině
$E_2$	[J]	Energie na excitované hladině
EBM	[-]	Obrábění svazkem elektronů
EDM	[-]	Elektroerozivní obrábění
IČ	[-]	Infračervené záření
LBM	[-]	Laserové obrábění
Nd:YAG	[-]	Neodym:Yttrio-hlinitý granát
PBM	[-]	Obrábění plazmovým paprskem
RTG	[-]	Rentgenové záření
USM	[-]	Obrábění ultrazvukem
WJM	[-]	Obrábění vodním paprskem
$h$	[J · s]	Planckova konstanta
$v$	[m · s <sup>-1</sup> ]	rychlost
$\nu$	[Hz]	Frekvence vyzářených fotonů



## Úvod

První laserové zařízení bylo vytvořeno už v roce 1960. Od toho roku zaznamenal laser široké využití ve spoustě různých oborů. Setkáváme se s ním v každodenním životě ve spotřební elektrotechnice, v komunikačních a informačních technologiích, ve výzkumu nebo v medicíně. Největší roli však hraje ve strojírenském průmyslu. Řezání, svařování, pájení, popisování, gravírování, vrtání, mikro obrábění, v těchto, ale i v mnoha dalších operacích má laser, v oblasti nekonečného zpracování materiálu, své zastoupení.

Tato práce se zaměřuje především na technologii gravírování laserem. Popisuje a porovnává alternativní metody vytváření různých obrazců nebo reliéfů na zadanou součást. K praktické části byl použit CO<sub>2</sub> laser. Experimenty byly prováděny na akrylovém materiálu.

Cílem bylo zjistit vhodné nastavení parametrů pro obrábění znaku katedry obrábění a montáže. Výsledky práce budou využity při výrobě štítků na dveře kanceláří dříve zmíněné katedry a pro popis a gravírování reklamních předmětů.

[17] [18] [21]

# 1 Přehled současných technologií gravírování

## 1.1 Gravírování

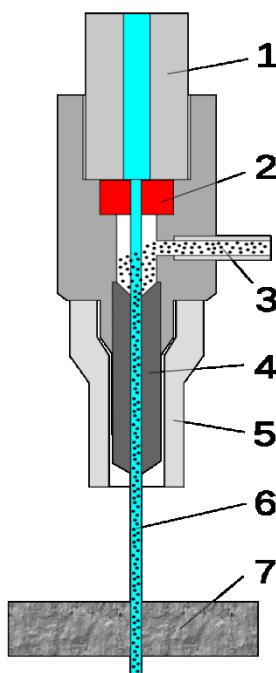
Gravírování je technologie, která pomocí odebrání materiálu vytváří logo, text, ornamenty, malé formy popřípadě detaily ve formách. Dnešní moderní technologie nahrazují staré ruční rytí. Největší výhodou gravírování je jeho nesmazatelnost. Své uplatnění nachází především reklamním odvětví nebo kde je potřeba zajistit dlouhodobou životnost popisu.

[23] [26]

## 1.2 Technologie obrábění vodním paprskem

### Princip Metody

Oddělování materiálu probíhá za pomoci kinetické energií vysokotlakého a vysokorychlostního paprsku. [2]



Obr. 1: Řezací hlavice [3]

1-Přívod vysokotlaké kapaliny, 2-Vysokotlaká tryska (rubín nebo diamant), 3-Přívod abraziva, 4-Míchací trubice, 5-Výstupní tryska, 6-Abrazivní vodní paprsek, 7-Řezaný materiál

## **Druhy technologií obrábění vodním paprskem**

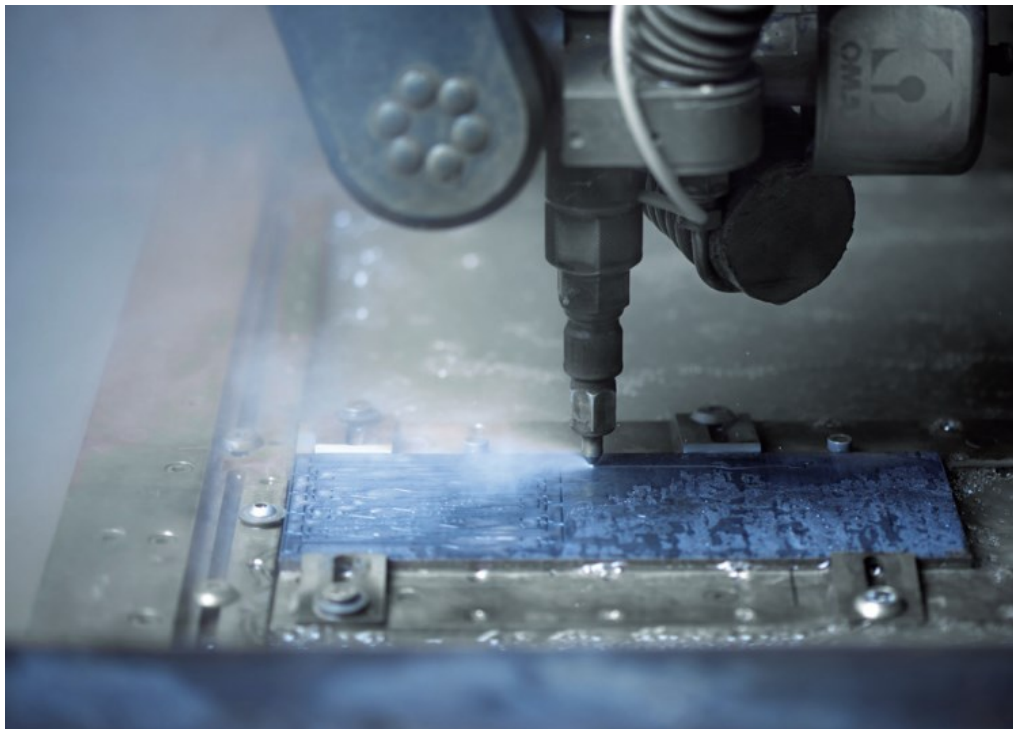
- obrábění čistým kapalinovým paprskem – WJM (Water Jet Machining),
- obrábění ledovým vodním paprskem – IJM (Ice Jet Machining),
- obrábění abrazivním kapalinovým paprskem – AWJM (Abrasive Water Jet Machining),
- obrábění s přímým vstříkáváním brusiva – ASJ (Abrasive Slurry Water Jet).

[2]

## **Druhy dodávaného abraziva**

- granát ( $5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{Y}_2\text{O}_3$  nebo  $[\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3]$ ) – čast užívaný, vysoká cena, vysoký efekt,
- oxid hlinitý –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,
- olivín –  $(\text{Mg,Fe})_2(\text{SiO}_4)$ ,
- křemičitý písek,
- ocelová drť,
- broky.

[2]



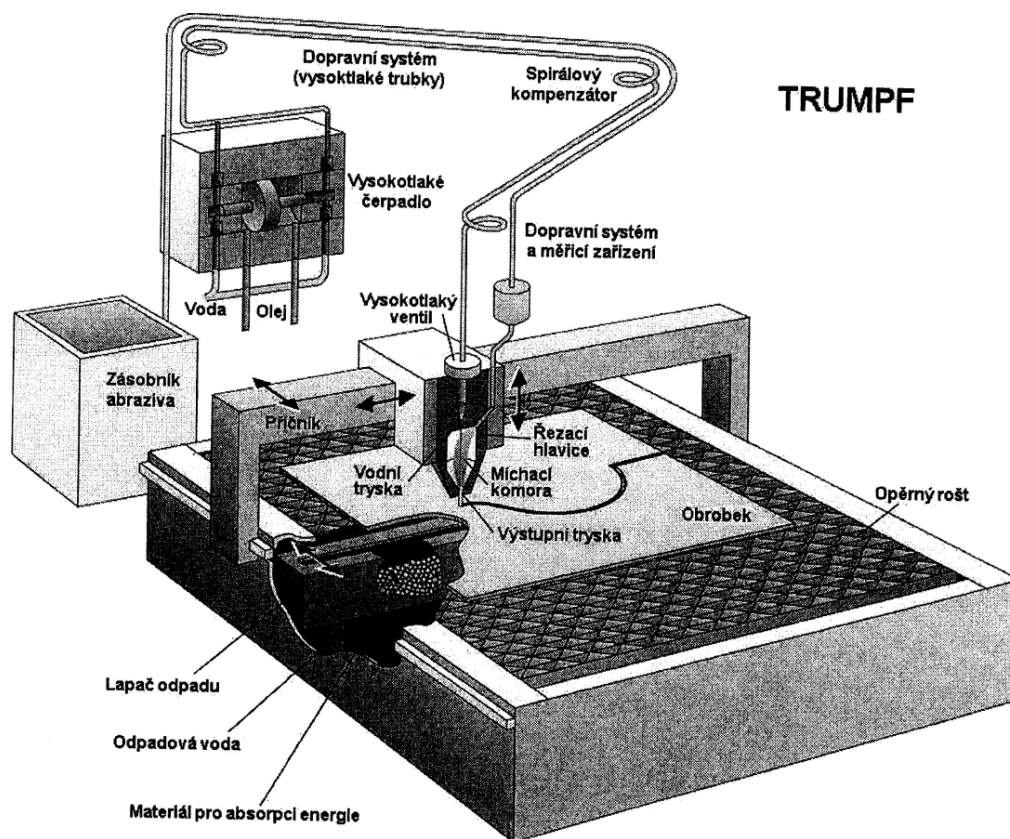
Obr. 2: Gravírování abrazivním vodním paprskem [4]

## Výhody

- možnost obrábět tepelně citlivé materiály,
- vysoká energetická účinnost (až 80%),
- možnost změny tlaku,
- ekologicky šetrná technologie,
- bezprašný provoz, nevznikají žádné plyny nebo páry.

## Nevýhody

- vyšší cena abraziva pro obrábění tvrdších materiálů,
- přímý kontakt vody s obráběným materiálem.

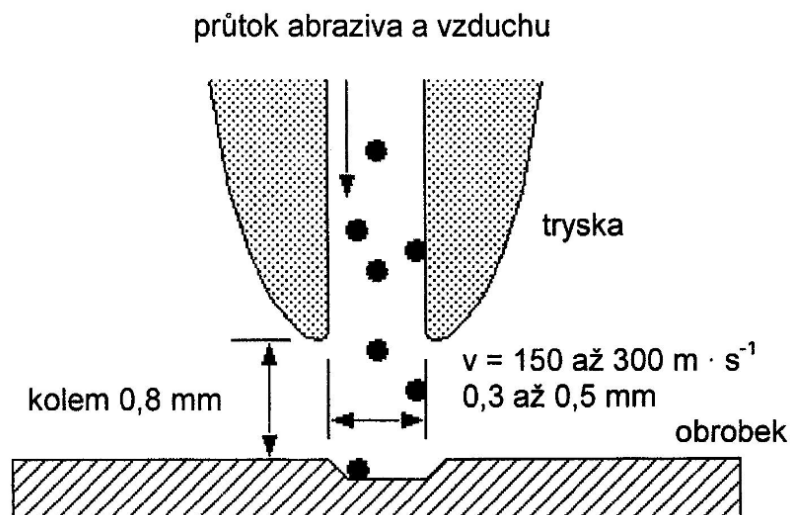


Obr. 3: Schéma řezání [2]

### 1.3 Obrábění proudem abraziva

#### Princip metody

Oddělování materiálu probíhá za pomoci kinetické energie abrazivních částic. [2]



Obr. 4: Princip metody [2]

#### Používaná přenosová média

- vzduch,
- $\text{CO}_2$ ,
- $\text{N}_2$ .

#### Používaná abraziva

- oxid hlinitý  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,
- oxid siřičitý  $\text{SiO}_2$ ,
- uhličitan hořečnatý  $\text{Mg}_2\text{CO}_3$ ,
- hydrouhličitan sodný  $\text{NaCO}_3$ ,
- dřevěné sklo a skleněné kuličky.

#### Výhody

- tepelně neovlivní materiál,
- obrábění tvrdých materiálů,
- cena média,
- levný provoz.

## Nevýhody

- pomalý proces obrábění,
- rozptyl paprsku okolo 60°.

[2]

## 1.4 Gravírování frézou

### Princip metody

Jedná se o třískové obrábění, které probíhá na CNC frézkách. Jako nástroje jsou používány válcové, půlené frézy nebo gravírovací hroty.

### Používané nástroje:

#### Půlené frézy

- univerzální, nejvíce používané,
- vyráběny z rychlořezné oceli nebo ze slinutých karbidů,
- spousta velikostí a libovolné úhly břitu
- gravírování plastů, nerezové oceli, hliníku, mosazi, kůže.

[5] [6]



Obr. 5: Půlená fréza [5]

## Gravírovací hroty [8]

- Vyráběny ze slinutých karbidů nebo z diamantu
- Nerotační - netočí se, nahrazují ruční rytí,
  - hrot je umístěn na pružině,
  - jemné, decentní provedení,
  - rytí do zlata, stříbra, nerezové oceli.
- Rotační - rytí do mramoru, skla, keramiky a podobných tvrdých, křehkých materiálů.

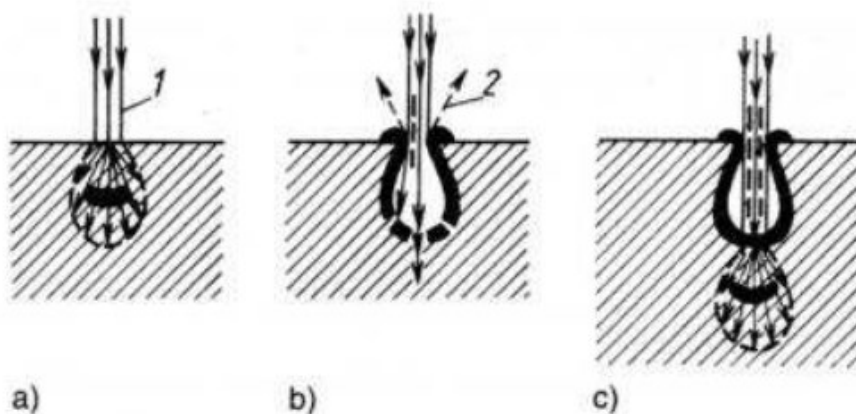


Obr. 6: Příklad použití nerotačního diamantového  
hrotu na povrchu eloxovaného hliníku. [8]

## 1.5 Gravírování Elektronovým Paprskem

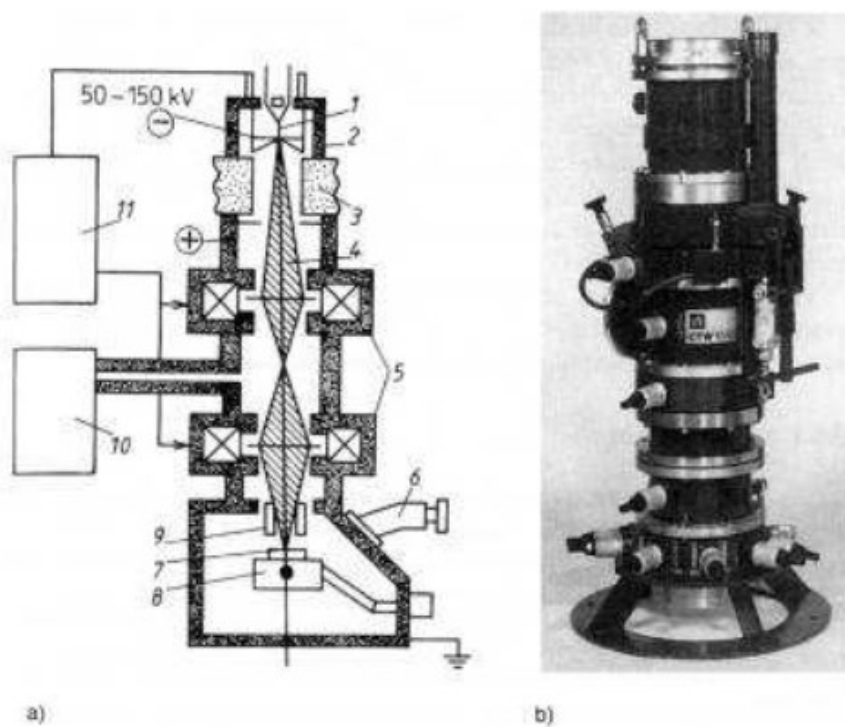
### Princip metody

Svazek soustředěných elektronů vysokou rychlostí (až  $\frac{3}{4}$  rychlostí světla) dopadá na povrchu obrobku, kde se jeho kinetická energie mění na tepelnou a způsobí odpařování materiálu. Po vypaření částeczek materiálu se elektronový paprsek opět zaostří na místo úběru a celý proces se opakuje. [2]



Obr. 7: Princip obrábění elektronovým paprskem [2]

a-vnik elektronů do materiálu obrobku, b-erupční odpařování materiálu, c- opětný vnik elektronů do materiálu obrobku, 1-elektronový paprsek, 2 – páry odpařeného kovu



Obr. 8: Zařízení pro obrábění elektronovým paprskem [2]

(a - schéma, b-zdroj elektronů – elektronové dělo, 1 – wolframový drát, 2-elektronové dělo, 3-izolátor, 4-elektronový paprsek, 5-elektromagnetické čočky, 6- průzor, 7- obrobek, 8-pracovní stůl, 9- elektrostatické vychylování elektronového paprsku, 10 – vývěvy, 11- napájecí zdroj)



### **Výhody**

- vysoká účinnost,
- rychlost, přesnost,
- obrábění těžkoobrobitelných materiálů (žárupevné oceli, titanové slitiny, křemík, drahokamy, wolfram).

### **Nevýhody**

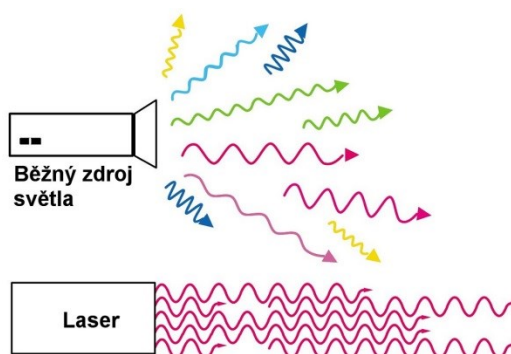
- Pracovní cyklus ve vakuu ( $10^{-3}$  až  $10^{-4}$  Pa),
- vznik škodlivého RTG záření,
- špatná obrobitelnost mosazi, bronzu, zinku hořčíku, a slinovaných kovů.

## 2 Technologie gravírování laserem

### 2.1 LASER

Termín „LASER“ je akronym anglického Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation což by se dalo volně přeložit jako „zesílení světla pomocí vybuzečné emise záření“. Laser je přístroj, který pracuje na principu kvantové mechaniky, generuje záření s unikátními vlastnostmi. Laser Využití laserové technologie v praxi je nespočetné. Hlavní použití nachází v oborech strojírenství, medicíny, vědy a techniky, zábavním průmyslu, ale i v předmětech denní potřeby např. laserová ukazovátka, cd-rom atd.

Laserový paprsek je oproti běžnému světelnému záření vysoce monochromatický (má prakticky pouze jednu vlnovou délku) a koherentní (stejná frekvence, směr kmitání i fáze). [13] [17] [18]



Obr. 9: Laserový paprsek [2]

### 2.2 Historie

Laser byl fyzikálně popsán už v roce 1917 Albertem Einsteinem. První návrh laseru pochází z roku 1958 od C. H. Towne a A. L. Shawtowa. O dva roky později, čili v roce 1960 byl zkonstruován a odzkoušen T. H. Maimanem. Jako aktivní prostředí byl použit krystal rubínu.

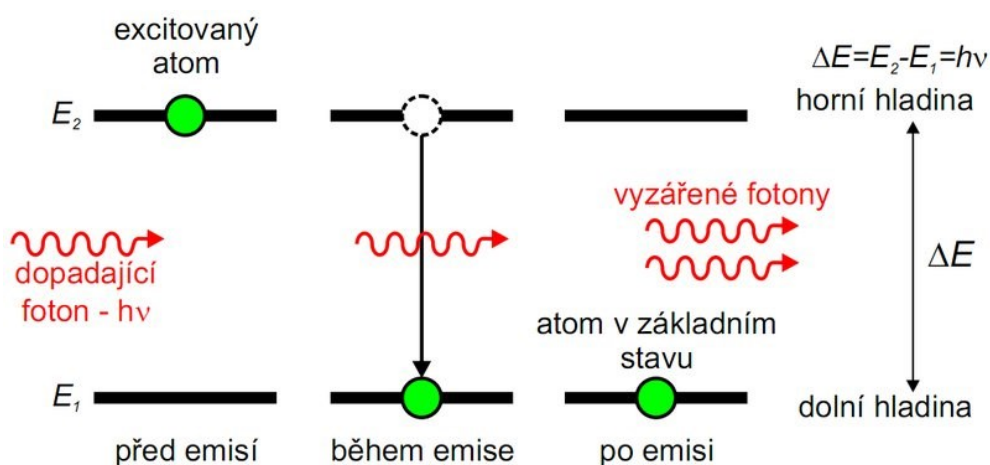
V dalších letech byly realizovány laserové zařízení pracující v pevném, plynném a kapalném prostředí. Roku 1961 byl otestován plynový helio-neonový (He-Ne) pány Javan, Bennet a Heriot. Ve stejném roce spatřil světlo světa první pevnolátkový laser na bázi neodým-sklo (Nd). První polovodičové lasery se objevili v roce 1962. V roce 1964 byl testován argono-iontový laser a pevnolátkový neonový laser (ND-YAG).

Roku 1964 také experimentoval C. H. Patel se svým plynovým CO<sub>2</sub> laserem. V současnosti má právě tento laser nejširší využití v průmyslové výrobě.

[12] [26]

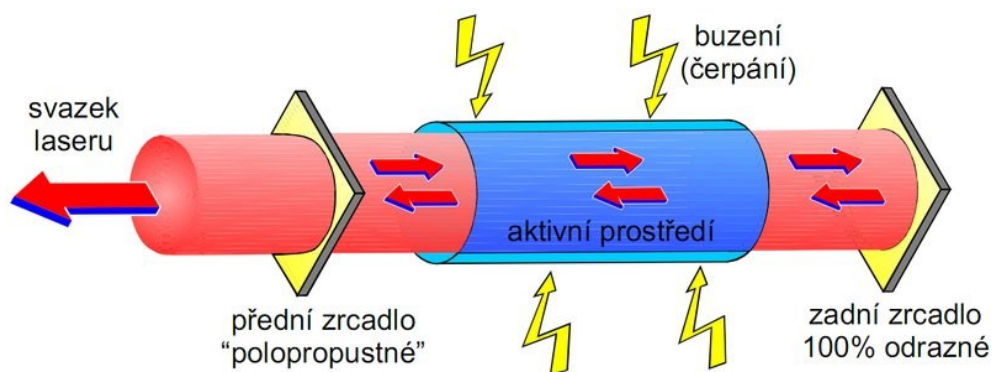
## 2.3 Princip

Elektrony v atomu, nacházející se v aktivním prostředí, jsou energeticky vybuzeny vnějším zdrojem a přejdou tak na vyšší energetickou hladinu E<sub>2</sub>. Tento fyzikální jev označujeme jako „inverzní populace“. Tyto elektrony mají tendenci samovolně zaujmout hladinu s nižší energií E<sub>1</sub>, přitom však vyzáří kvantum světelného záření. K zesílení světelného záření nám pomáhá tzv. „stimulovaná emise“.



Obr. 10: Stimulovaná emise [17]

Soustředěný paprsek světla působí na malou plochu materiálu, který se vlivem vysoké teploty odpařuje.



Obr. 11: Princip laseru [17]

Každý typ laseru se skládá ze tří základních částí:

Aktivní prostředí (laserové médium) - zdroj atomů potřebných pro stimulovanou emisi, průhledný, schopný odvádět teplo.

Rezonátor – optická soustava, zesilující světelné záření. Skládá se z nepropustného a propustného zrcadla.

Budící zařízení – dodává energii atomům v aktivním prostředí.

Laserové přístroje nejčastěji pracují v kontinuálním režimu, můžeme se však setkat i s lasery vysokými výkony pracující v režimu pulzním.

Buzení probíhá elektrickým výbojem, chemickou reakcí, fotodisociací, rychlou expanzí plynu, průchodem svazku rychlých elektronů nebo opticky.

[2][13][14][17][18]

## **2.4 Druhy laserů a jejich aktivní prostředí**

Pevnolátkové - aktivním prostředím je vybroušený krystal,

- rubín, titan, neodým, alexandrit, safír.

Plynové - CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>He

- He-Ne

- Ar, P

Kapalinové – aktivním prostředím je materiál, který obsahuje nerovnovážné elektrony

Excimerové – ArCl, XeCl, XeF, Kr, F

Polovodičové – GaAs

[2] [13] [20]

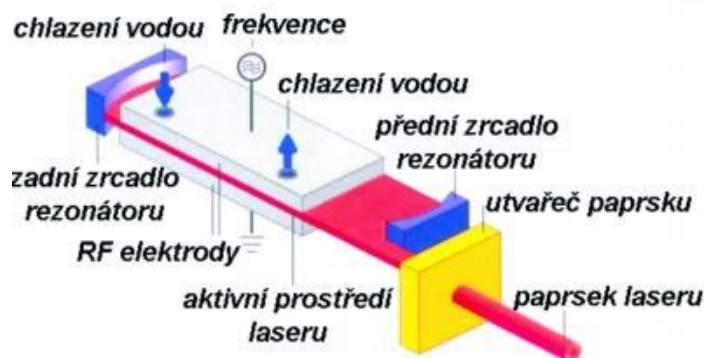
Tab. 1 Přehled typů laserů [2] [20]

Typ laseru	Aktivní prostředí	Vlnová délka [μm]	Spektrální oblast	Výkon laseru	Příklady použití
Pevnolátkové					
Rubínový	Rubín	694,3	Červená	5W	Holografie, odstraňování tetování
Nd-YAG	Neodym, YAG	1064	IČ	100 až 1200W	Chirurgie, strojírenství
Alexandritový	Alexandrit	800	Červená, IČ	10W	Žihání, řezání
Plynové					
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý	10,6	IČ	500 až 1500	Sváření, řezání, gravírování
He-Ne	Helium, Neon	543; 633	Zelená, červená	20mw	Zaměřování polohy, spektroskopie
Měděný	Měď	510; 578	Zelená		Podmořská komunikace, a lokalizace
Polovodičové					
GaAs	GaAs	650; 840	Červená, IČ	2 až 10mW	Laserová ukazovátka, laserová tiskárna
Kapalinové					
Farbivo Rhodamine 6	Etanol, metanol	340-1175	IČ, vid. spektrum	100W	Fotochemie, spektroskopie

## 2.5 Rozbor CO<sub>2</sub> laseru

CO<sub>2</sub> lasery jsou nejstarší a nejpoužívanější lasery ve strojírenském průmyslu. Patří do kategorie plynových laserů. Vlnová délka paprsku se nachází v infračerveném spektru světelného záření a činí 10,6  $\mu\text{m}$ . Tato vlnová délka pro je pro lidské oko neviditelné. Buzení plynu je zajištěno výbojem elektrického proudu, který zapálí směs plynů. Laser pracuje v kontinuálním režimu.

[13][14]



Obr. 12: Konstrukce CO<sub>2</sub> laseru [14]

Jako laserové médium se používá směs plynů obsahující:

- oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) 10-20%,
- dusík (N<sub>2</sub>) 10-20%,
- vodík (H<sub>2</sub>) nebo Xenon (Xe),
- helium (He).

Poměry jednotlivých plynů se můžou lišit. Stimulovaná emise probíhá pouze v molekulách oxidu uhličitého. Zbytek plynů jen zlepšuje inverzní populaci.

Jsou vhodné pouze pro gravírování nekovových materiálů, jako jsou dřevo, sklo a některé druhy plastů apod. U popisování kovů je potíž v jeho odrazivosti (kolem 99%). Pro kovové materiály je vhodnější použít pevnolátkový lasery Nd:YAG vyzařující paprsek o vlnové délce 1,06  $\mu\text{m}$ . Je zde však možnost použít speciální pasty na kovy, které se nanosou na kov a nechají zaschnout. Při značení energie laserového paprsku začne reagovat s materiálem pasty a dojde k pevnému spojení značícího materiálu s povrchem podkladu. Přebytečný materiál se lehce odstraní.

[13] [15] [16]

## 2.6 Porovnání parametru a dosahované parametry jednotlivých metod

Tab. 2 Srovnání výkonových parametrů vybraných metod obrábění [2]

Způsob obrábění	Úběr materiálu	Měrná práce	Příkon obráběcího stroje
	$Q_v$	$E_p$	$P_{os}$
	$[cm \cdot min^{-1}]$	$[J \cdot mm^{-3}]$	$[kW]$
Soustružení Frézování	až 1 000	1 - 10	5 - 50
Broušení	5 - 100	5 - 200	5-150
Elektroerozivní obrábění	5	100 - 1 000	10
Plazmové obrábění	100	500 - 1000	50 -150
Obrábění elektronovým paprskem	~ 0,01	1 500	100
Obrábění laserem	0,005	až 30 000	5 - 15
Elektrochemické obrábění	15 - 25	10 - 100	200
Ultrazvukové obrábění	~ 10	1 000 - 3000	1 - 5

Tab. 3 Dosahované parametry jednotlivých metod [2]

Technologie obrábění	Drsnost povrchu	Přesnost rozměru	Hloubka ovlivněné vrstvy
	$R_a$	-	$h$
	$[\mu m]$	$[mm]$	$[\mu m]$
EDM hrubování	Nad 6	$\pm 0,02 - 0,5$	200-300
EDM dokončování	1,6 - 3,2	$\pm 0,01 - 0,02$	20 - 50
USM	0,4 - 6,3	0,02-0,1	0
LBM	3 - 6	*	100
EBM	6,3 - 50	*	0
PBM	12 - 50	*	500 – 800
WJM	1,6 - 12	$\pm 0,01$	0
AWJM	2,5 - 12	$\pm 0,5-1$	0

Poznámka: \* Při obrábění laserem, paprskem elektronů a plazmou je přesnost rozměrů dána přesností ovládacího mechanismu

### 3 Aplikace technologie gravírování laserem

#### 3.1 Gravírovací a řezací laserové zařízení

K praktické aplikaci bylo použito gravírovací a řezací CO<sub>2</sub> laser značky Numco s katalogovým označením C 1290. Zařízení je vhodné pro výrobu reklamních předmětů (cedule, štítky, razítka, výrobky z kůže a dřeva). Další využití nachází pro značení a popisování menších sérií nejrůznějších dílců. Je možné také gravírovat rotační plochy. Stroj je vybaven třemi odrazovými zrcátky speciálními čočkami. Poslední odrazové zrcátko je seřiditelné pro nastavení kolmosti paprsku. Laserová trubice je chlazena vodou. Technické parametry CO<sub>2</sub> laseru můžeme vidět v tabulce. č.4. Technické parametry stroje v tabulce č.5.



Obr. 13: Laserové zařízení Numco C 1290

Komunikaci mezi laserovým zařízením a softwarem nainstalovaným v počítači zajišťuje kontrolér MPC6515.



Tab. 4 Technické parametry laseru

Typ laseru	E4060
Výrobní číslo	310792526/2013
Nejvyšší výkon trubice	80W
Vlnová délka záření	10,6 $\mu\text{m}$
Spektrální oblast záření	IČ
Druh aktivního prostředí	Plynové – Molekulární – CO <sub>2</sub>
Průměr svazku záření	3,5 mm
Nejmenší průměr paprsku	0,25 mm
Třída laseru	IV.
Délka laserové trubice	1600 mm
Průměr laserové trubice	65mm
Režim generování laserového záření	Impulsní
Délka pulsu	50-1000 $\mu\text{s}$
Frekvence pulsu	25-500 Hz
Pracovní proud	27 mA
Zážehové napětí	27 kv
Životnost laserové trubice	8000 hodin

Tab. 5 Technické parametry stroje

Typ	C 1290
Gravírovaná plocha max.	1200 x 900 mm
Typ laseru	CO <sub>2</sub>
Rychlost gravírování	0-1000 mm/s
Rychlost řezání	0-600 mm/s
Přesnost polohování	< 0,01 mm
Hloubka řezu max.	Akryl – 20mm
Napájení	230 V / 50Hz
Pracovní teplota	0-45°C
Hmotnost	320 kg
Rozměry v mm	1630 x 1330 x 1000

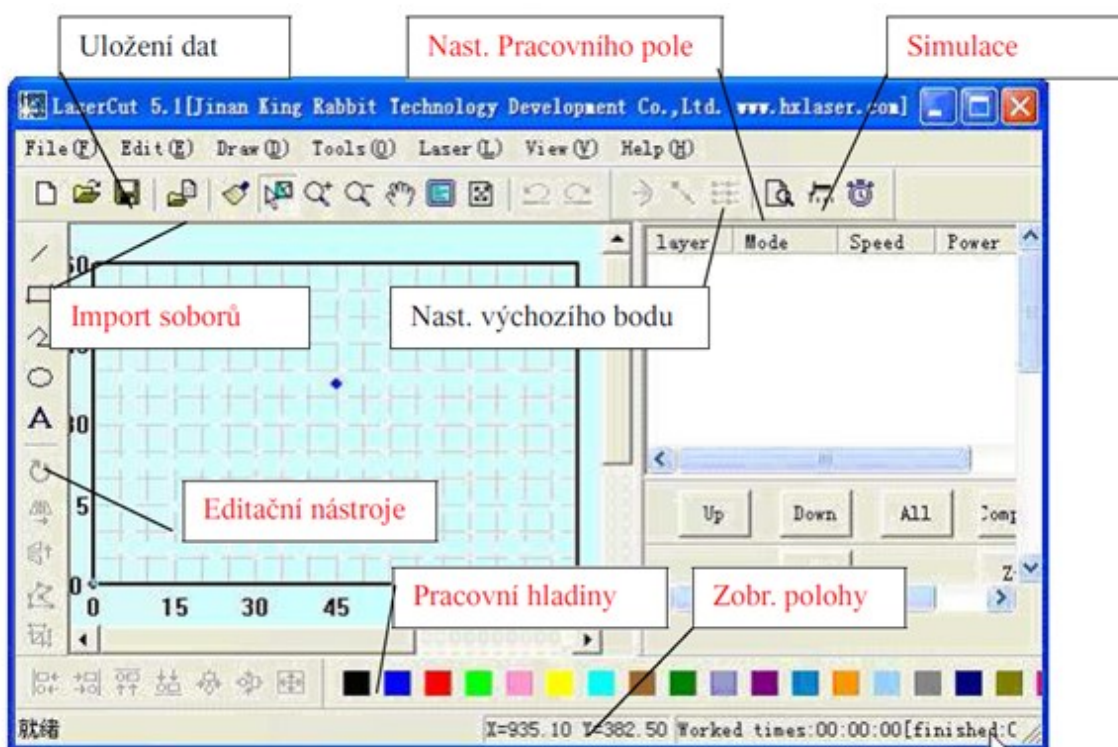
### 3.2 Bezpečnost

Na základě mezinárodních a národních norem jsou lasery děleny do několika tříd bezpečnosti. V České republice toto upravuje Nařízení vlády č. 480/2000 Sb., část 139 ze dne 22. 11. 2000 a Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů č. 258/2000 ze dne 14. 7. 2000. Lasery jsou rozřazeny podle výkonu, vlnové délky a účinků na lidský organismus.

Zvolený laser spadá do nejvyšší a nejnebezpečnější IV: třídy. Tyto lasery poškozují živou tkáň, a proto se bezpodmínečně musí používat ochranné pracovní pomůcky a dodržovat předepsaný provozní řád. [22] [24]

### 3.3 Software Laser Cut 5.3

Pomocí programu Laser Cut 5.3 můžeme vytvářet texty, kreslit jednoduché obrazce nebo importovat nákresy ze známých grafických softwarů jako je AutoCad nebo CorelDraw. Laser Cut podporuje také celou řadu běžně používaných formátů jako BMP, JPG, GIF, TIF, PNG atd.






Obr. 14: Vysvětlení rozhraní pro Laser Cut [24]

### 3.3.1 Hladiny

V pracovním poli je možnost ke každé grafice přidat zvláštní hladinu, která bude mít své specifické nastavení. Zpracování probíhá shora dolů. Na výběr máme z několika pracovních módů:

- Cut – řezání
- Engrave – gravírování
- GradeEngrave – gravírování pod úhlem
- Hole – otvory



Layer	Mode	Speed	Power	Output	Times
	Cut 	40.00	40.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1
	Engrave 	400.00	50.00	<input checked="" type="checkbox"/>	1
	GradeEngrave 	250.00	80.00	<input checked="" type="checkbox"/>	1
	Hole 	--	50.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1

Obr. 15: Nastavení pracovního pole [24]

Layer: Volba hladiny

Mode: výběr pracovního módu

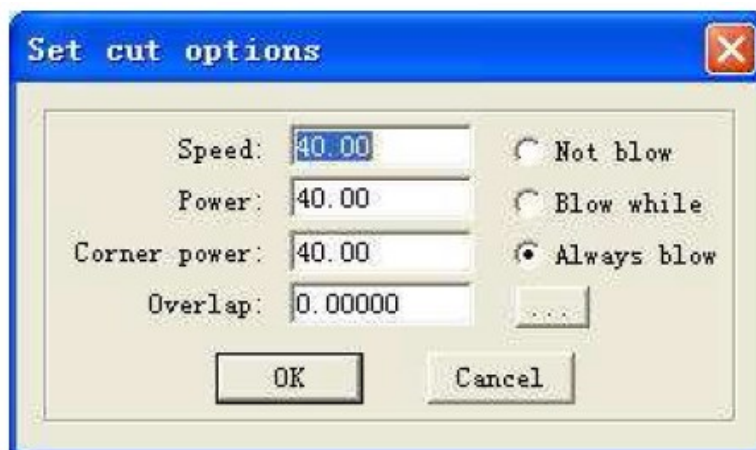
Speed: nastavení rychlosti

Power: Nastavení výkonu laseru

Output: Rozhodujeme, zda se daná hladina bude zpracovávaná nebo ne

Times: Určuje počet zpracování

### 3.3.2 Nastavení parametrů řezání (set cut options)



Obr. 16: Tabulka nastavení parametrů [24]

Speed: vektorová rychlost v osách X a Y

Power: výkon laseru při zpracování hladiny

Corner Power: výkon laseru při pohybu hlavy v rozích

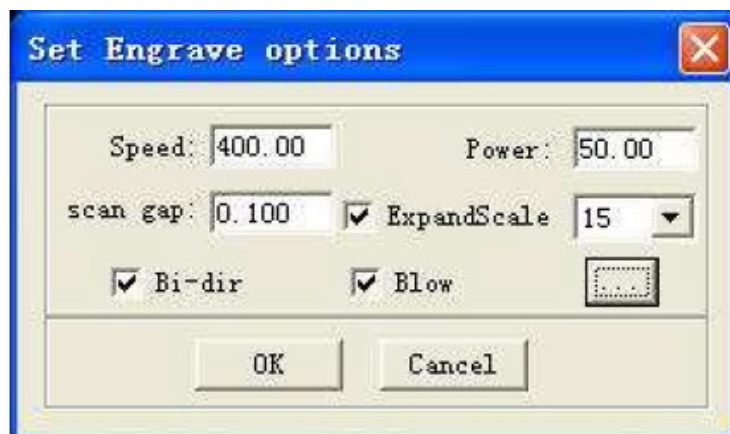
Overlap: jedná se o offset řezané grafiky vůči skutečnosti. Pomocí tohoto parametru se vyrovnávají jemné nepřesnosti mechaniky

Not Blow: bez ofuku

Blow with Laser: ofuk pouze při zapnutí.

Always Blow: ofuk zapnutý vždy

### 3.3.3 Nastavení pro gravírování (set engrave options)



Obr. 17: Tabulka nastavení parametrů [24]

Speed: rychlost gravírování v ose X

Power: výkon laseru při gravírování

Scan gap: posuv v ose Y po ujetí dráhy v ose X, čím menší hodnota nastavena tím je gravírování přesnější

Bi-dir: při výběru této možnosti probíhá gravírování při pohybu osy X do kladných i záporných souřadnic

Blow: ofuk vyp./zap. Vyžaduje speciální hardware.

Expand scale: při gravírování malých písmen může být posuv v ose Y větší než velikost písmene. Pomocí tohoto parametru to můžete kompenzovat.

[24]

### 3.4 Zadaná součást

Pro praktickou aplikaci gravírování laserem byl vybrán akrylový materiál LZ-993. Jedná se o materiál dvouvrstvý, vhodný pro popis a řezání jak laserem, tak mechanicky (CNC). Jeho spodní vrstva je černá a povrch pokryt stříbrnou barvou. Výsledná gravura má tak černý povrch. Materiál byl zakoupen u firmy Gravo Tech s.r.o. Cena za jeden kus byla 9,80 Kč bez DPH. Technické údaje o materiálu jsou uvedeny v tabulce č.6.



Obr. 18: Součásti před obráběním

Tab 6. Technické údaje materiálu

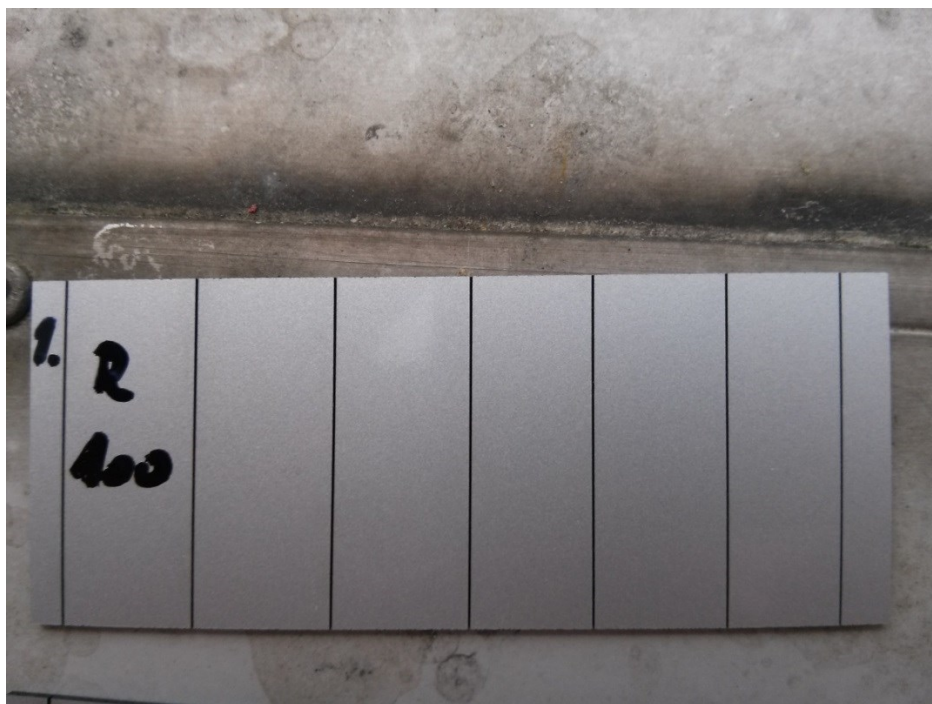
Obchodní označení:	LZ-996 1,6 LaserAcryl
Systematický název:	Polymethylmethakrylát (PMMA)
Anglický název:	Polymethylmethacrylate
Ostatní názvy:	Akrylátové sklo, plexisklo
Sumární vzorec:	$(C_5O_2H_8)_n$
Délka:	610 mm
Šířka	40 mm
Tloušťka:	1,6 mm
Barva:	Lesklá stříbrná metalíza / černá

### 3.5 Porovnání řezů při různě nastavených parametrech

V softwarovém rozhraní bylo nakresleno celkem 7 řezu pro každou součást. Každý řez měl nastavenou svou vlastní hladinu a různé parametry určující výkon laseru a rychlost řezu. Pro součást č. 1 (obr. 19) byla nastavená jednotná rychlost řezu 100 mm/s. Řezy byly odstupňovány výkonem laseru po 10%. První řez (obr. 19 vlevo) byl vykonán se 100% výkonem laseru. Poslední řez (na obr. 19 vpravo) byl parametr výkonu laseru nastaven na 40%.

Tab.7 Nastavené parametry pro součást č.1

Pořadové číslo řezu	1	2	3	4	5	6	7
Rychlost řezání [mm·s <sup>-1</sup> ]	100	100	100	100	100	100	100
Výkon laseru [%]	100	90	60	70	60	50	40



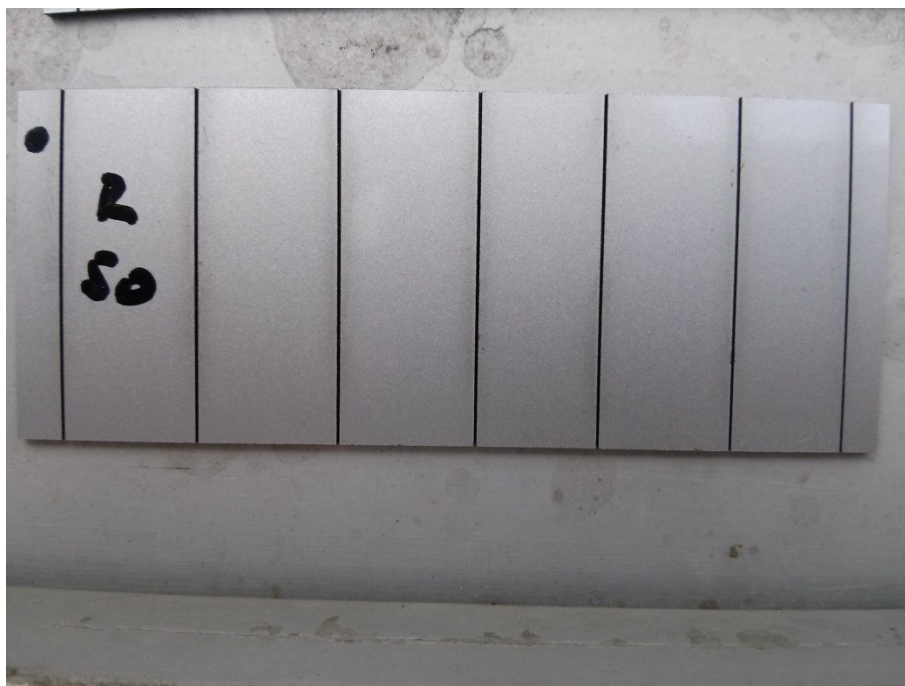
Obr. 19: Součást č.1

Všechny řezy na součásti č.2 (obr. 20) měly hodnotu rychlosti řezu 50 mm/s. Pro srovnání se součástí č. 1 byly parametry výkonu laseru seřazeny opět od 100% až po nejnižší hodnotu 40%. Výkon laseru se mění po 10% sestupně zleva (obr. 20).

Tab. 8 Nastavené parametry pro součást č. 2

Pořadové číslo řezu	1	2	3	4	5	6	7
Rychlost řezání [mm·s <sup>-1</sup> ]	50	50	50	50	50	50	50
Výkon laseru [%]	100	90	60	70	60	50	40

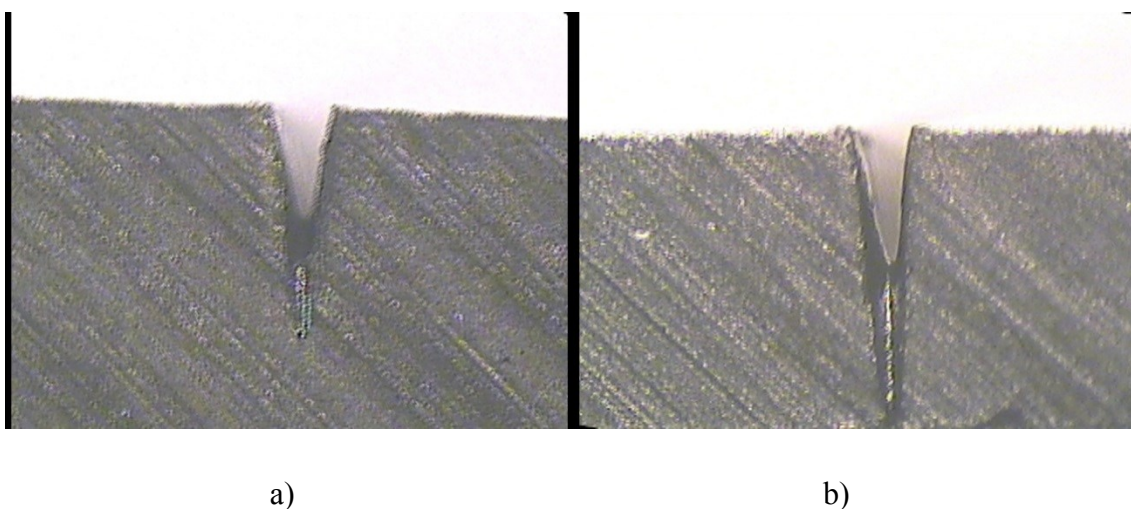




Obr. 20: Součást č. 2

Při přímé vizuální kontrole bylo zjištěno na součásti č. 2 větší množství znečištění v okolí řezu. Jedná se o nečistoty z vypařovaného materiálu, které se usadily na povrchu materiálu.

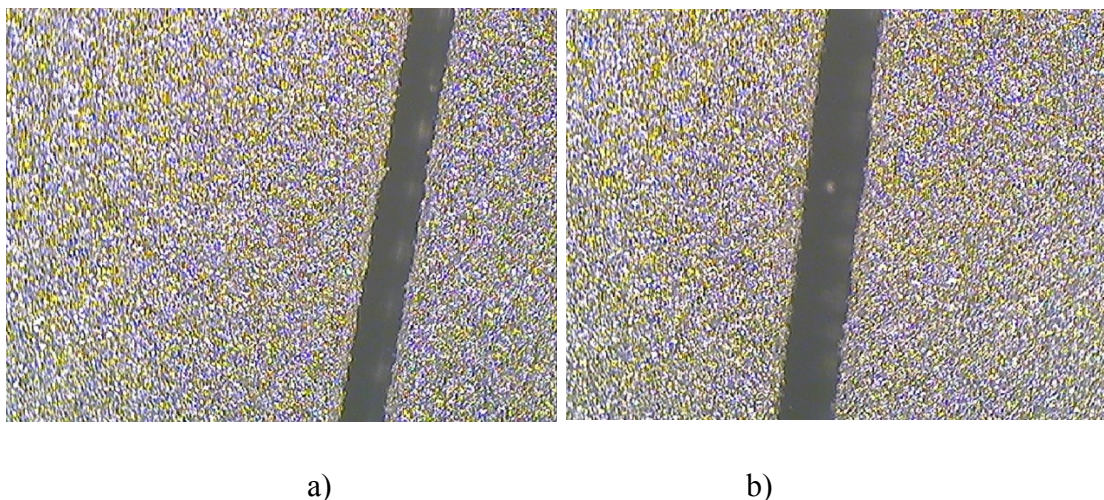
Pro ukázkou jaký vliv má na hloubku a šířku řezu parametr rychlosti řezu byly vybrány řezy s pořadovým číslem 7, které byly provedeny při 40% výkonu laseru. Na obr. 21 jde vidět rozdíl mezi těmito vzorky. Nižší rychlost řezu zapříčiňuje větší odtavení materiálu, než rychlosti vyšších hodnot.



Obr. 21 a) řez při nastavení parametru rychlosti 100 a výkon laseru 40%  
b) řez při nastavení parametru rychlosti 50 a výkonu laseru 40% (zvětšeno 4x)



Rychlost řezu nemá vliv jen na hloubku řezu, ale i na jeho šířku. Při vyšší rychlosti dochází k menšímu úbytku materiálu.



Obr. 22: a) řez při nastavení parametru rychlosti 100 a výkon laseru 40%  
b) řez při nastavení parametru rychlosti 50 a výkonu laseru 40% (zvětšeno 4x)

Pod mikroskopem nebyly zaznamenány žádné rozdíly v drsnosti nebo ve výskytu otřepů zapříčiněné vypařováním materiálu.

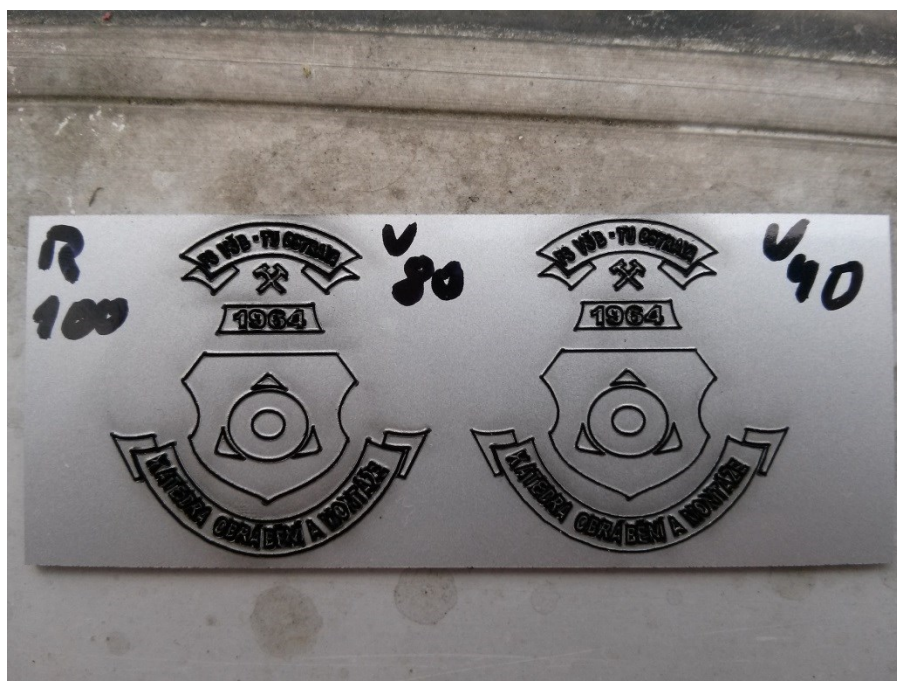
### 3.6 Volba optimálních parametrů pro zavedení výroby znaku na zadanou součást

Každý materiál reaguje na úbytek materiálu za pomoci laseru jinak. V praxi je proto nutno experimentovat s různým nastavením dvou nejhlavnějších parametru a tím jsou řezná rychlost a výkon laseru. Pro zjišťování těchto ideálních podmínek pro výrobu znaku byl zvolen akrylový materiál viz kap. 3.4.

Znak byl importován do softwaru ve formě obrázku ve formátu PNG. Celkem byly provedeny 4 znaky s parametry uvedenými v tab. 9.

Tab. 9 Nastavené parametry pro výrobu znaku

Číslo znaku	1	2	3	4
Rychlost řezání [mm·s <sup>-1</sup> ]	100	100	200	200
Výkon laseru [%]	80	40	80	40



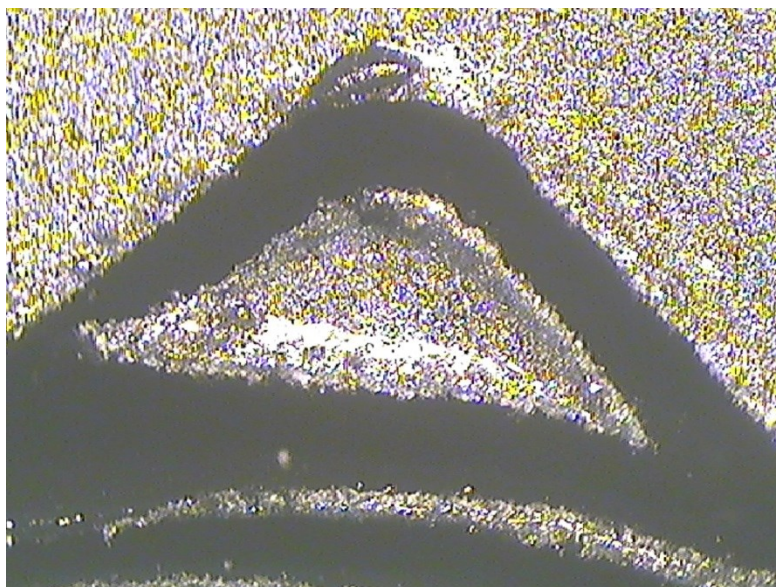
Obr. 23: Znak č. 1 vlevo, znak č. 2 vpravo



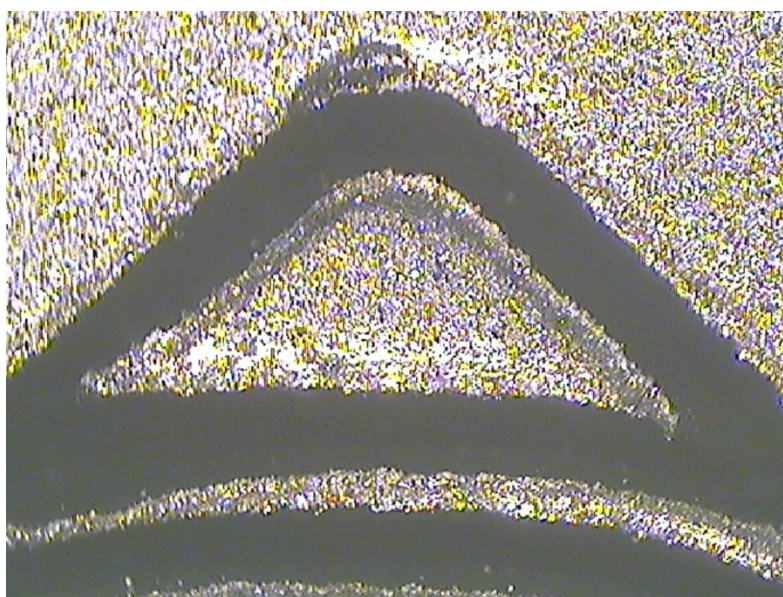
Obr. 24: Znak č. 3 vlevo, znak č. 4 vpravo

Pro přesnější vyhodnocení kvality všech vzorků byla vybrána tvarově složitá část znaku. Hodnotila se kvalita zpracování s porovnáním s originální předlohou obrázku v digitální podobě, která byla importována do programu Laser Cut 5.3. Detaily byly zachyceny mikroskopem se 4 násobným zvětšením oproti realitě.

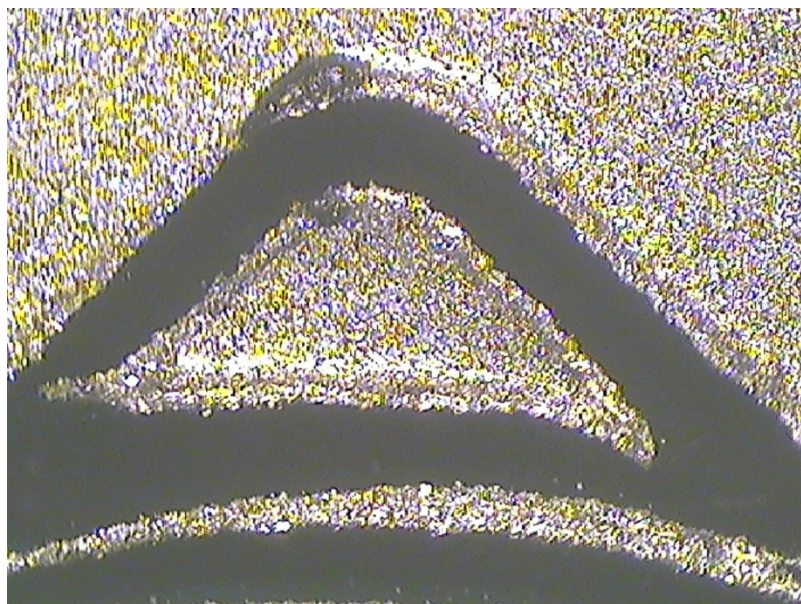




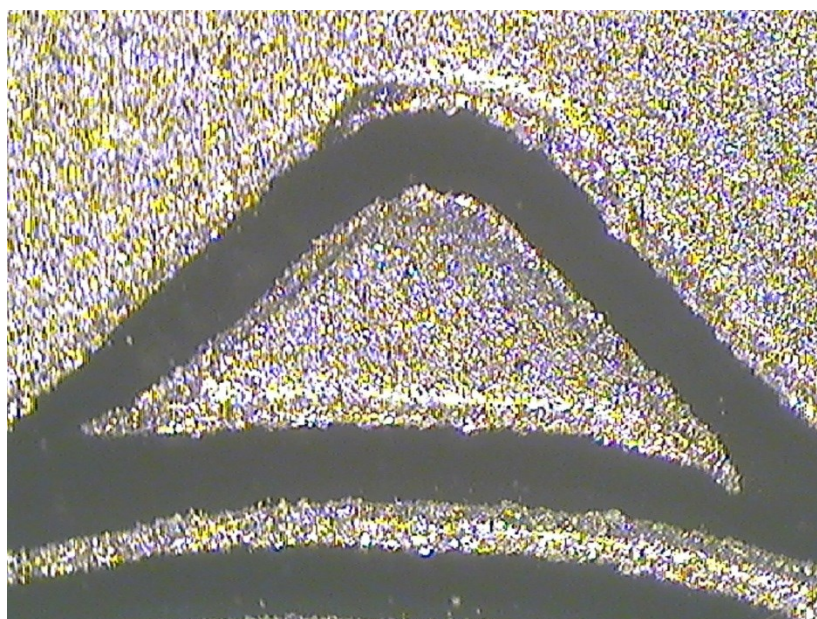
Obr. 25: Detail znaku č. 1 (zvětšeno 4x)



Obr. 26: Detail znaku č. 2 (zvětšeno 4x)



Obr. 27: Detail znaku č. 3 (zvětšeno 4x)



Obr. 28: Detail znaku č. 4 (zvětšeno 4x)

### 3.7 Zhodnocení kvality zpracování obráběného znaku

Z nepřímé vizuální zkoušky byl vyhodnocen znak č. 4 jako nejlépe zpracovaný. Materiál v okolí řezu nebyl tepelně ovlivněn natolik, aby se deformoval. Vytvořený text je na znaku č. 4 nejlépe čitelný. Ideálním nastavení při výrobě tohoto znaku do daného materiálu by byl se 40% výkonem laseru a rychlostí řezu  $200 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ .



## **Závěr**

Teoretická část práce mapuje použití různých technologií, které jsou vhodné ke gravírování nebo popisování materiálu. Popisuje jejich základní princip, pro jaké materiály je daný způsob obrábění vhodný, jejich výhody, nevýhody a srovnává mezi sebou.

V první části praktické aplikace je popsán použitý stroj a zadaný materiál. Je zde základní vysvětlení rozhraní a možnosti použití softwaru Laser Cut 5.3 k obrábění. Následně se práce zabývá tím jaký vliv má na obráběnou plochu CO<sub>2</sub> laser při různě nastavených parametrech. Z pozorování bylo zjištěno, že výkon laseru a rychlost řezání má vliv nejen na hloubku řezu ale i na jeho šířku. Byl zaznamenán rozdíl v okolí řezu a to mírným znečištěním, způsobené odpařováním materiálu při nižších rychlostech řezání.

Druhá část je věnována zjišťováním ideálního nastavení parametrů laseru, aby vznikla co nejlépe zpracovaná předloha na akrylovém materiálu. Byly provedeny celkem 4 vzorky, každý s různým nastavením parametrů. Hodnoty, se kterými se experimentovalo, byly výkon laseru a rychlost řezání laseru. Pouze jeden vzorek byl vyhodnocen jako nejlépe zpracovaný při porovnáním s originálním souborem importovaným do ovládacího softwaru. Ideální hodnoty nastavení při výrobě tohoto znaku na daný materiál je při 40% výkonu laseru a rychlostí řezu  $200 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ . Lepšího zpracování by bylo možné dosáhnout pomocí importované vektorové grafiky oproti rastrové, která byla použita v experimentu. Tyto poznatky budou využity katedrou obrábění a montáže na VŠB-TU Ostrava při výrobě dveřních štítků a k potisku reklamních předmětů.

## Literatura

- [1] EL-HOFY, H. *Advanced Machining Processes – Nontraditional and Hybrid Machining Processes*. The McGraw-Hill Companies, 2005, ISBN 0-07-145334-2
- [2] SADÍLEK, M. *Nekonvenční metody obrábění I*. VŠB-TU Ostrava, 2009, 152 s., ISBN 978-80-248-2107-8.
- [3] Wikipedia. *Water jet cutter* [online]. 1.5.2006, aktualizováno 10.2.2014 [cit. 2014-03-04]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Water\\_jet\\_cutter](http://en.wikipedia.org/wiki/Water_jet_cutter)
- [4] WATERJET AG. [online]. [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: <http://www.waterjet.ch/en/>
- [5] Kovo Nástroje. *Gravírovací Frézy* [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://www.kovonastroje.cz/Znaceni-a-popisovani/Gravirovani/Gravirovaci-frezy/Gravirovaci-freza-karbidova-L-120mm-T-0-75mm-c-4.html>
- [6] Gravo Express. *Nástroje pro gravírování: Půlené frézy* [online]. © 2011 [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://www.gravoexpress.cz/>
- [7] Gravo Tech. *Frézy pro gravírování* [online]. © 2013 [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://www.gravotech.cz/produkty/prislusenstvi-a-nastroje/frezy-pro-gravirovani.html>
- [8] CNC Engraving Bit Tool For CNC Mill Router. *CNC Diamond Drag Engraving Bit Tool for CNC Engraving Mill Router* [online]. © 2010 [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://engravingbit.com/PRODUCTS.html>
- [9] KACHTÍK, Lukáš. *Laser: vše o laserech. Historie Laseru* [online]. 25.4.2010 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://lasery.wz.cz/historie.html>
- [10] STAK. *Obrábění laserem: princip a užití u ocele a jiných kovů. Technik* [online]. 6.9.2012 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://technik.ihned.cz/c1-57339360-obrabeni-laserem-princip-a-uziti-u-ocle-a-jinych-kovu>
- [11] POPOV, Alexey a Jan JERSÁK. *Speciální metody obrábění: Obrábění vodním paprskem a laserem*. [online]. 5.2.2013 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: [http://www.technomat.cz/data/katedry/kom/KOM\\_SMO\\_PR\\_14\\_CZE\\_Popov-Jersak\\_Obrabeni\\_vodnim\\_paprskem\\_a\\_laserem.pdf](http://www.technomat.cz/data/katedry/kom/KOM_SMO_PR_14_CZE_Popov-Jersak_Obrabeni_vodnim_paprskem_a_laserem.pdf)
- [12] ŠTĚPÁN, Václav. *Lasery. ŠTĚPÁN, Václav. Pipovy stránky* [online]. © 2006-2013 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://tc-pipa.wz.cz/lasery.html>

- [13] KACHTÍK, Lukáš. Laser: vše o laserech. *CO2 laser* [online]. 9.12.2010 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: [http://lasery.wz.cz/co2\\_laser.html](http://lasery.wz.cz/co2_laser.html)
- [14] ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ, Nekonvenční metody obrábění - 4. díl. *Nekonvenční metody obrábění - 4. díl* [online]. 19.3.2008, roč. 2008, č. 3 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: [www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-4-dil.html](http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-4-dil.html)
- [15] MM spektrum. *Značení a gravírování laserem* [online]. 21.5.2003, roč. 2003, č. 5 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/znaceni-a-gravirovani-laserem.html>
- [16] Themark. *Themark* [online]. © 2009 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.thermark.cz/index.html>
- [17] RYBA, Jakub. *Seriál na téma lasery: Základní princip laseru a jejich dělení* [online]. 19.2.2013 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery--zakladni-princip-laseru-a-jejich-deleni-127>
- [18] ŠULC, Jan. *Lasery a jejich aplikace* [online]. 8.10.2002 [cit. 2014-04-17]. Dostupné z: <http://www.plslaser.cz/pdf/lasery.pdf>
- [19] VLACH, B. a kol. *Technologie obrábění a montáží*. Praha : SNTL, 1990.ISBN 80-03-00413-09.
- [20] RYBA, Jakub. *Seriál na téma lasery: Hlavní typy laserů používaných v průmyslu* [online]. 19.2.2013. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---hlavni-typy-laseru-pouzivanych-v-prumyslu-128>.
- [21] KRUTINA, Jiří. *Laserové technologie v průmyslu*. [online]. 3.3.2010, roč. 2010, č. 3 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/laserove-technologie-v-prumyslu.html>
- [22] LAPŠANSKÁ, Hana. *Laserové technologie v praxi* [online]. 13.12.2010 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: <http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/granty/laser.pdf>
- [23] Výzkumné centrum pro strojírenskou výrobní techniku a technologii. *Gravírování laserem* [online]. © 2014 [cit. 2014-05-13]. Dostupné z: [www.rcmt.cvut.cz/file/?\\$redakce\\$download\\$cz\\$Technologick%C3%A9%20profily\\$LASER\\_Y\\_I\\_vlna\\_technologicky%20profil\\_final\\_m\\_gravirovani.pdf](http://www.rcmt.cvut.cz/file/?$redakce$download$cz$Technologick%C3%A9%20profily$LASER_Y_I_vlna_technologicky%20profil_final_m_gravirovani.pdf)

- [24] Numco. *Gravírovací a řezací laser C 1290* [online]. © 2013 - 2014 [cit. 2014-05-13].  
Dostupné z: <http://www.numco.cz/produkt/7801290-gravirovací-a-rezací-laser-c-1290/>
- [25] NUMCO. *Návod k obsluze gravírovacího a řezacího laseru C1290*.
- [26] Clever People. *Laserové Gravírování* [online]. © 2009 - 2011 [cit. 2014-05-18].  
Dostupné z: <http://www.cleverpeople.cz/index.php/laserove-gravirovani>